

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕХНОГЕННО НАРУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА РЕЧНОЙ СТОК

А. А. Волчек¹, Ан. А. Волчек², Н. Н. Шешко³, И. Н. Шпока⁴

¹ Д. геогр. н., профессор, декан факультета инженерных систем и экологии УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь; e-mail : volchak@tut.by

² К. т. н., доцент, доцент кафедры природообустройства УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь

³ К. т. н., доцент, доцент кафедры природообустройства УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь

⁴ К. г. н., доцент кафедры природообустройства факультета инженерных систем и экологии УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь; e-mail : shpoka@yandex.ru

Реферат

В статье изложена методика оценки влияния различных техногенно нарушенных территорий на речной сток, которая позволяет, выделить в пределах водосборной площади ряд типовых стокоформирующих комплексов и рассчитать гидрологические характеристики для заданного расчетного створа.

Представлены результаты сравнительного анализа формирования поверхностного стока в естественных условиях и при воздействии антропогенных факторов в границах водосбора рек Мухавец, Лесная, Гайна. Выявлена закономерность уменьшения стока после проведения строительных работ на участке.

Ключевые слова: техногенно нарушенные территории, речной сток, коэффициент поверхностного стока, критическая площадь.

EVALUATION OF THE IMPACT OF TECHNOLOGICALLY LOADED TERRITORIES ON RIVER FLOW

A. A. Volchek, An. A. Volchek, N. N. Sheshko, I. N. Shpoka

Abstract

The article sets out a methodology for assessing the impact of various technogenic-disturbed territories on river runoff, which allows one to isolate a number of typical drainage complexes within the catchment area and calculate hydrological characteristics for a given settlement.

The results of a comparative analysis of the formation of surface runoff under natural conditions and under the influence of anthropogenic factors within the catchment of the Mukhavets, Lesnaya, Gaynarivers are presented. The regularity of the decrease in runoff after carrying out construction work on the site is revealed.

Keywords: technologically disturbed, river flow, surface runoff coefficient, critical area.

Введение

Стремительный рост мирового населения влечет за собой расширение городских районов, строительство инженерных объектов, освоение новых территорий для сельскохозяйственного использования, разработки новых месторождений полезных ископаемых и т. д., что, без должной научной проработки, представляет серьезную угрозу для естественных процессов, доступности и наличия ресурсов, а также качества окружающей среды. Антропогенный ландшафт имеет заметное воздействие на метеорологические и гидрологические процессы. Изменения термического режима и увеличение твердых частиц в атмосферном воздухе в городских районах влияют на интенсивность формирования осадков и вероятность возникновения конвективных летних гроз. Увеличение площади городских территорий приводит к увеличению слабопроницаемых поверхностей и расширению применения искусственных дренажных систем, что носит разнонаправленный характер и требует комплексного анализа [1, 5, 8, 9].

В этих условиях знания о процессах трансформации режима стока в результате роста техногенно нарушенных территорий (ТНТ) становится все более приоритетной задачей в области гидрологических наук [3, 5, 6].

ТНТ – это территории, подвергшиеся существенному антропогенному воздействию, которое привело к значительным изменениям естественного ландшафта и, как правило, к негативному влиянию на элементы окружающей природной среды. Эти изменения, с одной стороны, придают естественным ландшафтам азональные черты, а с другой, делают их урбанизированными территориями со значительной долей площадей с искусственными покрытиями, сильно канализованными, с полностью или частично организованным по-

верхностным и подземным стоком [2, 5]. В целом ТНТ не имеют ярко выраженных черт ни естественных ландшафтов (в том числе азональных), ни урбанизированных территорий, представляя их сложную мозаику, тем не менее, объединенную в систему конкретных водосборов. Это объединение обусловлено сложным сочетанием комплекса природных, административных, производственных, социальных и других факторов, под воздействием которых формируются границы водосборов, водоразделы и тальвеги, соотношение поверхностного, подземного, дренажного стоков и инфильтрационной составляющей стока, качество стока, а также определяется положение расчетных створов. Все эти факторы оказывают непосредственное влияние на условия формирования и трансформации поверхностного и подземного стоков [7, 14].

Одним из ключевых факторов антропогенных преобразований стока является трансформация подстилающих поверхностей [4, 10]. Модуль стока формируется за счет подземной и поверхностной составляющей. Влияние морфометрических характеристик русла и параметров водосбора на подземный сток принято учитывать коэффициентом неполноты дренирования подземных вод. Данный коэффициент показывает, насколько полно река вскрывает водоносный горизонт грунтовых вод. Коэффициент при полном дренировании приближается к единице. Как показали исследования приближения площади к некоей критичной, река может наблюдать незначительное уменьшение подземного стока. Аналогичные подходы применимы при учете антропогенных трансформации подстилающих поверхностей.

Целью данной работы является разработка и апробация методики оценки влияния ТНТ на речной сток рек Беларуси с помощью средневзвешенных коэффициентов поверхностного стока.

Исходные данные

В данной работе в качестве исходных данных использованы наблюдения за основными климатическими характеристиками Брестской области (осадки, температура, влажность и т. д.). Для формирования пространственных моделей в качестве картографической основы применялись данные дистанционного зондирования (ортофотоснимки, космические данные) и материалы земельно-информационной системы Республики Беларусь. В качестве информации о структуре водопотребления (водопользования) урбанизированных территорий и качестве водных ресурсов использованы официальные отчетные материалы, приведенные на информационных ресурсах Национального статистического комитета Республики Беларусь [11, 12].

Методика исследования

Среднее значение коэффициента поверхностного стока с водосбора определяется по формуле

$$\alpha_{cp} = y/P, \tag{1}$$

где y – слой среднего поверхностного стока с водосбора, мм; P – средняя сумма осадков, выпавшая на водосбор, мм.

Имея экспертно назначенные коэффициенты стока можно вычислить действительное значение модуля поверхностного стока, вводя коэффициент трансформации поверхностного стока. Величину коэффициента трансформации поверхностного стока для i -го ландшафта будем определять по следующему соотношению

$$\beta_i = \frac{\alpha_i}{\alpha_{cp}}, \tag{2}$$

где α_i – коэффициент стока i -го ландшафта.

Среднее значение коэффициента поверхностного стока с водосбора (части водосбора), включающего в себя НТН, рассчитывается по формуле

$$\beta_{cp} = (\beta_1 \cdot A_1 + \beta_2 \cdot A_2 + \dots + \beta_i \cdot A_i + \beta_n \cdot A_n) / A. \tag{3}$$

где $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ – коэффициенты поверхностного стока с различных видов поверхностей территории; A_1, A_2, \dots, A_n – площади различных видов поверхностей (стокоформирующих комплексов) рассматриваемой территории, км², которые определяются по плану местности масштабом от 1:500 до 1:5000; A – общая площадь водосбора или всей ТНТ, км².

Тогда для небольших водотоков (площадь водосбора менее $A_{1кр}$) норма модуля стока, м³/с·км², определяется с учетом трансформации подстилающих поверхностей [15]

$$\bar{q}_T = \beta_{cp} \cdot q_{пов} + K_{др} \cdot q_{подз}, \tag{4}$$

где $q_{пов}$ – норма модуля поверхностного стока; β_{cp} – средневзвешенный коэффициент трансформации подстилающих поверхностей; $K_{др}$ – коэффициент, учитывающий неполное дренирование подземных вод; $q_{подз}$ – подземная составляющая зональных значений нормы модуля стока, определяемая по разности общего и поверхностного стока, м³(с·км²).

В зависимости от площади водосбора влияние застроенных (преобразованных) ландшафтов может как значительно влиять на поверхностный сток, так влияние может не превышать стандартную ошибку или точность оценок. Для количественной оценки степени преобразованности ландшафта введем понятие коэффициента трансформации подстилающих поверхностей, который будет представлять собой отношение площади нарушенных земель на водосборе к общей площади водосбора. К нарушенным будем относить все ландшафты кроме естественных (лесных, болотных, луговых и пахотных земель). При некоем критическом отношении площади трансформации A_T к площади водосбора A будем наблюдать статистически значимые изменения величины речного стока, данное отношение обозначим как $\mu = A_T / A$. Площадь водосбора, при которой наблюдаются значимые отклонения в величине стока, назовем критической площадью поверхностного стока $A_{1кр}$. При различных уровнях трансформации подстилающих поверхностей $A_{1кр}$

будет меняться. Размер критической площади поверхностного стока определим исходя из допустимой ошибки среднемноголетнего стока. Функционально предполагаем, что $A_{1кр}$ будет зависеть от следующих факторов: соотношение трансформированной площади водосбора к площади в естественном состоянии μ ; средневзвешенного коэффициента трансформации поверхностного стока β_{cp} ; изменчивости среднегодового стока (в качестве изменчивости принимаем среднеквадратическое отклонение) $\sigma_{\bar{q}}$. Тогда получаем:

$$A_{1кр} = f(\mu, \beta_{cp}, \sigma_{\bar{q}}). \tag{5}$$

Рассмотрим модельный водосбор A , на котором присутствует суммарная трансформированная водосборная площадь A_T , тогда изменения величины стока ΔQ для данной площади могут быть определены:

$$\Delta Q = Q'_T - Q_T, \tag{6}$$

где Q_T – величина стока, образующаяся на участке площадью A_T без учета влияния изменений в характеристиках подстилающей поверхности, м³/с; Q'_T – то же, только с учетом изменений в характеристиках подстилающей поверхности, м³/с.

Учитывая уравнения (6) и (4), запишем

$$\Delta Q = Q'_T - Q_T = (A_T \cdot q'_{пов} + A_T \cdot K_{др} \cdot q_{подз}) - (A_T \cdot q_{пов} + A_T \cdot K_{др} \cdot q_{подз}), \tag{7}$$

сокращая и вынося за скобки, получим

$$\Delta Q = Q'_T - Q_T = A_T (q'_{пов} - q_{пов}), \tag{8}$$

заменим $q'_{пов} = q_{пов} \cdot \beta_{cp}$, тогда имеем

$$\pm \Delta Q = A_T \cdot q_{пов} (\beta_{cp} - 1). \tag{9}$$

Выдвигаем нулевую статистическую гипотезу: естественная изменчивость стока меньше изменений, обусловленных трансформацией подстилающих поверхностей. Тогда запишем условие:

$$H_0 : F_{v_1, v_2, \alpha} = \frac{\sigma_{\bar{q}}^2}{(\Delta Q)^2}. \tag{10}$$

Таким образом, критическую площадь $A_{1кр}$ будем определять из условия соблюдения равенства

$$F_{v_1, v_2, \alpha} = \frac{\sigma_{\bar{q}}^2}{(\Delta Q)^2}. \tag{11}$$

Выразим среднеквадратическую ошибку следующим уравнением

$$\sigma_{\bar{q}}^2 = A^2 \cdot \sigma_{\bar{q}}^2. \tag{12}$$

Подставим уравнения (12) и (9) в (11)

$$F_{v_1, v_2, \alpha} = \frac{A^2 \cdot \sigma_{\bar{q}}^2}{(A_T \cdot q_{пов} (\beta_{cp} - 1))^2} = \frac{A^2 \cdot \sigma_{\bar{q}}^2}{A_T^2 \cdot q_{пов}^2 \cdot (\beta_{cp} - 1)^2}. \tag{13}$$

Заменим отношение площадей и выразим его из уравнения (13).

$$\mu = \frac{\sigma_{\bar{q}}}{q_{пов} \cdot |\beta_{cp} - 1| \sqrt{F_{v_1, v_2, \alpha}}}. \tag{14}$$

Рассматривая отдельные участки водосбора относительная площадь будет зависеть от уровня осреднения (элементарной фигурой), поэтому ее величину определим как средневзвешенную. При этом размер элементарной фигуры и будет равен искомой $A_{1кр}$

$$\mu_{cp} = \frac{A_{1кр} \sum_{i=0}^n \mu_i}{A} \Rightarrow A_{1кр} = \frac{A \cdot \mu_{cp}}{\sum_{i=0}^n \mu_i}. \tag{15}$$

Принимая с определенным уровнем допущений равными между собой μ и μ_{cp} , подставим уравнение (15) в (14), откуда получим

$$A_{\text{КП}} = \frac{A \cdot \sigma_{\bar{q}}}{q_{\text{пов}} \cdot |\beta_{\text{ср}} - 1| \sqrt{F_{v_1, v_2, \alpha}} \cdot \sum_{i=0}^n \mu_i} = \frac{\sigma_{\bar{q}}}{q_{\text{пов}} \cdot |\beta_{\text{ср}} - 1| \sqrt{F_{v_1, v_2, \alpha}} \cdot \sum_{i=0}^n \mu_i} \quad (16)$$

Окончательно получаем

$$A_{\text{КП}} = \frac{\sigma_{\bar{q}}}{q_{\text{пов}} \cdot |\beta_{\text{ср}} - 1| \sqrt{F_{v_1, v_2, \alpha}} \cdot \sum_{i=0}^n \left(\frac{A_{T_i}}{A_{\text{КП}}} \right)} \quad (17)$$

Уравнение (17) решается методом подбора с применением ГИС. Сопоставляя полученное уравнение с первичной функциональной зависимостью (5), видим, что в вычислении $A_{\text{КП}}$ участвуют все предполагаемые параметры, а в качестве статистического критерия значимости используется F критерий Фишера при заданном уровне значимости.

Анализ особенностей изменения поверхностного стока на реках с антропогенно-нагруженными территориями

Изменение поверхностного стока р. Мухавец

Река Мухавец является правым притоком Западного Буга – крупнейшей речной системы Восточной Европы. Река Мухавец расположена только в пределах Брестской области. Её длина 113 километров. Общая площадь водосбора составляет 6350 км². Перепад высот между истоком и устьем составляет всего 29 м. К крупнейшим притокам Мухавца относят Жабинку, Дахловку, Тростяницу, Осиповку, а также Риту. Мухавец впадает в Западный Буг в пределах г. Бреста. Речная долина Мухавца расширяется от 400 м в верхнем течении до двух километров в нижнем. Пойма реки местами заболочена, а её русло искусственно спрямлено и превращено в канал. Кроме этого, посредством Днепровско-Бугского канала Мухавец имеет связь с рекой бассейна Днепра Припятью. Замерзает река, как правило, в первой половине декабря. Мухавец отличается невысокими берегами (их высота не превышает двух метров), местами обрывистыми. Склоны речной долины равнинные, что способствует их активному заболачиванию. Вся южная и юго-восточная части водосбора реки заняты низинными болотами, некоторая часть из них на сегодняшний день осушена. В то же время озера на берегах Мухавца немного (менее 2% от территории). Норма годового стока всей площади (6350 км²) водосбора р. Мухавец составляет 33,8 м³/с.

Ежегодно территория водосбора реки подвержена постоянной антропогенной нагрузке. Одной из составляющей является градостроительство. На примере одного из микрорайонов г. Бреста выполнен анализ формирования поверхностного стока, его количественные показатели на площадке в естественных условиях и при застройке жилого микрорайона. Земельный участок расположен в юго-западной части г. Бреста. С северо-восточной стороны район ограничен улицами Проектируемой № 1а и Грюнвальдской (напротив находится жилой микрорайон «ЮЗМР-3» и парк тысячелетия г. Бреста), с северо-запада – существующей улицей Махновича (напротив – жилой микрорайон «ЮЗМР-2»), с юго-западной – ул. Ковельское шоссе (с данной стороны застройка отсутствует), с юго-восточной стороны – улицей Краснознаменной (рисунок 1).

На данный момент земельный участок представляет засеянную травяным покровом территорию, в отдельных местах растут поросль деревьев и кустарников. Общая площадь территории составляет 664032 м², площадь занятая под газон и иной травяной покров, составляет 409266 м², под порослью – 23667 м², остальная территория занята под растительность в виде деревьев и кустарников. Следует отметить, что земельный участок входит в водоохранную зону р. Мухавец. При застройке участка, покрытие площадки будет представлено: асфальтобетонным покрытием для дорог и дорожных проездов к парковкам и домам, дорожками для пешеходов из тротуарной плитки, жилыми домами. Вся свободная территория будет засеяна газоном, цветниками и кустарниками, вдоль улиц предусматривается посадка деревьев [16]. Общий баланс застраиваемой территории представлен в таблице 1.

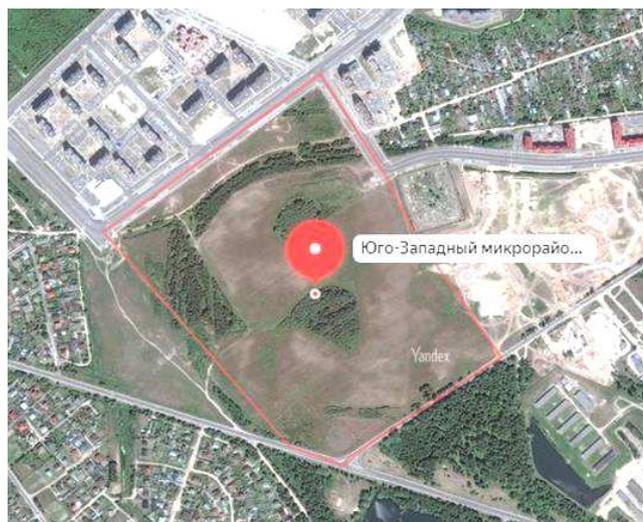


Рисунок 1 – Месторасположение застройки

Таблица 1 – Баланс территории застраиваемого участка

Наименование показателей	Площадь	
	м ²	% от всей площади
Границы территории	664032	100
Площадь застройки	351100	52,87
Площадь твердых покрытий	199600	30,06
– из них проезд с асфальтобетонным покрытием	75062	11,30
– из них покрытие из тротуарных плиток	93135	14,03
– из них покрытие спортивной площадки	8871	1,34
Озеленяемая территория	113332	17,07
– из них газон	67769	10,21

В геологическом строении участка на глубину полтора метра (автодорога) и пять метров (земельный участок) залегают генетические типы отложений:

- почвенные образования покрывают участок с поверхности и представлены растительным слоем до 0,4 м;
- техногенные образования – насыпные грунты слагают дорожную насыпь и состоят из песков мелких и средних; мощность от 0,2–1,2 м;
- озерно-аллювиальные отложения распространены повсеместно и представлены толщей песков пылеватых, мелких, средних, крупных, супесей пылеватых и глин мягкопластичных и тугопластичных.

Грунтовые воды наблюдаются на глубине до 3 метров от поверхности земли или на абсолютных отметках 133,04–137,46 м. Вдоль дорожной насыпи (1,5 м) уровень воды зафиксирован на глубине одного метра или на абсолютной отметке 136,2 м. Уровневый режим грунтовых вод непостоянный и зависит от интенсивности выпадения и инфильтрации атмосферных осадков.

Сток поверхностных вод и дренаж грунтовых вод происходят в пониженные участки территории, где имеются мелиоративные каналы, и далее по системе канав в рр. Западный Буг и Мухавец.

С западной стороны расположена автострада Брест-Ковель, перекрывающая сток поверхностных вод и частично дренаж грунтовых вод, что создает условия для подтопления данного участка территории.

Временный водоносный горизонт – верховодка может образовываться в понижениях рельефа на мощном растительном слое в зонах накопления.

В случае нарушения существующей системы гидрологической разгрузки при последующей застройке и планировке проектируемого квартала следует ожидать изменения гидрогеологических условий и повышение общего уровня грунтовых вод.

До момента начала строительства весь участок покрыт растительностью в виде травяного покрова, порослью деревьев и кустарников, а также отдельно деревьями и кустарниками. После проведения строительных работ 30 % территории займут твердые покрытия (дорожки, проезды, площадки, парковки), застройка займет 52,8 %, и только 17,06 % будет отведены под озеленение (устройство газо-

на, посадка цветников, кустарников и деревьев). По нашим расчетам, норма годового стока с рассматриваемой территории с учетом ее геологического строения и современных естественных условий, свойственных данной территории составляет 11,46 $\text{дм}^3/\text{с}$. При возведении на этой территории жилых домов, административных зданий, магазинов, строительстве дорожной сети норма годового стока изменится. С учетом данных представленных в таблице, среднегодовой объем поверхностного стока составит 33,8 $\text{м}^3/\text{год}$. В полученных результатах прослеживается тенденция к уменьшению количества среднегодового объема поверхностного стока, так как твердые покрытия (дороги, здания) являются препятствием для поверхностных вод. В сложившиеся ситуации по прогнозным оценкам поверхностный сток сократится на 11,68 %.

После проведения строительных работ по возведению жилых домов, магазинов, прокладке автомобильных дорог и пешеходных дорожек норма годового стока по нашим оценкам сократится до 9,626 $\text{дм}^3/\text{с}$, то есть на 11,03 % для территории площадью 664032 м^2 и на 0,003 % для территории водосбора р. Мухавец (6350 км^2).

На основании вышесказанного можно предполагать, что примерно такая же картина формирования стока на техногенно нарушенных территориях будет наблюдаться и в других городах страны.

Изменение поверхностного стока р. Лесная

Лесная – река в Каменецком и Брестском районах, правый приток Западного Буга. Общая длина реки составляет 85 км. Площадь водосбора 2650 км^2 . Среднегодовой расход воды в устье 13,0 $\text{м}^3/\text{с}$. Средний наклон водной поверхности 0,2 %. Образуется от слияния рек Правая Лесная и Левая Лесная за 1 км на восток от д. Угляны Каменецкого района, устье за 0,5 км на запад от д. Терабуны Брестского р-на. Протекает по Прибугской равнине и Брестскому Полесью. Основные притоки: Кривуля, Тачия, река без названия около д. Тростяница, Лютая (справа), Градовка (слева).

Долина шириной 2–4 км, склоны – до 20 м (местами до 30 м), пересечена ложбинами, ярами, осушительными каналами. Пойма двухсторонняя шириной 0,2–0,6 км (наибольшая до 1 км), луговая, реже – поросшая кустарником; в половодье затопляется водой на глубину 0,3–0,8 м сроком до трех недель. Русло извилистое, местами сильно извилистое. Ширина реки в межень 20–30 м. Берега высотой 1,0–1,5 м (местами 3–4 м), открытые, под кустарником.

Наивысший уровень половодья в конце второй декады марта, средняя высота над меженным уровнем 1,5 м, наибольшая – 2,1 м (1958). Замерзает в 3–й декаде декабря, ледолом – в середине марта (6 суток). На реке расположен г. Камень, возле д. Тюхичи Брестского района, река принимает сток с сети мелиоративных каналов [13].

Норма годового стока всей площади (2650 км^2) водосбора реки Лесная составляет 13,1 $\text{м}^3/\text{с}$.

В силу своего географического положения река испытывает антропогенные воздействия городов Камень, Брест. Одним из составляющих такого воздействия является строительство промышленных предприятий в ее бассейне.

На примере СП «Санта Бремор» ООО (находится по адресу: г. Брест, ул. Катин Бор, 106) произведен расчет нормы годового стока и расчет среднегодового объема поверхностного стока. Производственная площадка ограничена: с севера – автотрассой Минск – Козловичи; с запада – территорией СП «Санта Импэкс Брест» ООО; с юга – лесополосой; с востока – предприятием «BlackRedWhite» (рисунок 2).

Предприятие СП «Санта Бремор» ООО специализируется на переработке свежемороженой рыбы, морепродуктов, производстве рыбной и морепродукции, а также продукции и фарша сурими, спредов и производстве различных видовпельменей и мороженого. Основное производство включает в себя цеха рыбопереработки, производство пельменей и цех мороженого.

На территории производственной площадки расположены следующие здания, участки и цеха: административно-бытовой корпус; материальный склад; ремонтно-механический участок (сварочный участок, участок ремонта электродвигателей; пункт ТО, зарядная электрокаров); АХУ цеха (аммиачная компрессорная); производственные корпуса (переработка рыбной продукции, а также производство мороженого, переработка икры и рыбы, переработка рыбной продукции); производственный корпус по переработке морепродуктов и изготовления пельменей с энерготехнологическим комплексом и аммиачной компрессорной; энер-

готехнологический комплекс; котельная – для отопления и ГВС производственного корпуса; очистные сооружения производственных сточных вод – очистные сооружения производственных сточных вод; КНС по перекачке производственных сточных вод; участок мойки тары хозяйственного назначения; очистные сооружения ливневых стоков; площадка отстоя автотранспорта; воздушные компрессорные; склад муки; производственный корпус (развесовка и хранение муки и крахмала).

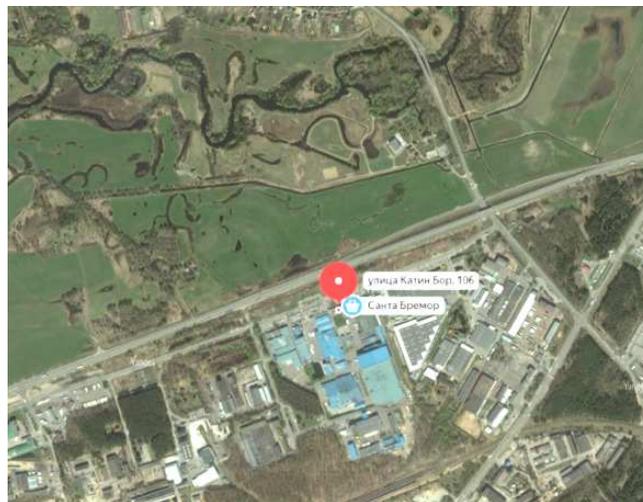


Рисунок 2 – Месторасположение промышленного объекта

Общая площадь застройки составляет 27,45% от площади территории предприятия. Общие данные по занимаемой территории представлены в таблице 2. Вблизи исследуемой промышленной площадки расположена река Лесная.

Таблица 2 – Баланс территории промышленной площадки

Виды использования участка	Площадь, м^2	% от всей площади
Общая площадь участка	2061,12	100
Площадь застройки	565,82	27,45
Общая площадь покрытий	1146,48	55,62
Общая площадь озеленения	348,82	16,92

По нашим оценкам, норма годового стока для данного участка при отсутствии промышленных зданий и сооружений, дорожных покрытий, с учетом современных условий, гидрографических характеристик, свойственных данной территории, норма годового стока равна $2,27 \cdot 10^{-2} \text{ дм}^3/\text{с}$. В результате возведения промышленных зданий и сооружений норма годового стока на данном участке сократится на 9,87 %. Площадь твердых покрытий с учетом застройки будет составлять 83,08% от общей площади территории. Среднегодовой объем поверхностного стока на промышленной территории с учетом данных, приведенных в таблице 2, составит $2,05 \cdot 10^{-2} \text{ дм}^3/\text{с}$, что на 90,13 % меньше в границах территории предприятия и на 0,000013 % в границах водосбора реки Лесная.

Изменение поверхностного стока р. Гайна

Гайна – река, которая протекает в Минской области, является правым притоком Березины. Длина реки около 100 км, площадь её водосборного бассейна – 1670 км^2 , среднегодовой расход воды в устье – 11,7 $\text{м}^3/\text{с}$, средний уклон реки 1,01 ‰.

Истоки реки находятся западнее д. Гайна Логойского района на Минской возвышенности, далее протекает по Верхнеберезинской низменности по территориям Смолевичского и Борисовского районов. Долина реки трапециевидная, ниже впадения Цны невыразительная, шириной от 0,8–1,2 км в верхнем течении до 2,5–3,0 км в нижнем. Пойма в низовьях до 1,5 км шириной. Ширина реки в межень – от 2–4 м в верховьях, до 10–16 м в низовьях, у устья – до 20 м. Река в верховьях канализована на 9 км (от д. Гайна до д. Кузевичи), на остальном протяжении реки русло извилистое. В Логойске имеется небольшое водохранилище. Основные притоки – Усяжа, Логозинка, Граба (правые); Цна, Кишкуржанка, Зембинка (левые).

Крупнейший населённый пункт на реке – г. Логойск. Долина реки в верхнем и среднем течении плотно заселена, в нижнем, Гайна в основном течёт по сильно заболоченной нежилой местности. Помимо Логойска, крупнейшие сёла и деревни на берегах реки – Гайна, Кузевичи, Добренево, Михалово, Терховичи, Гостиловичи, Рудня, Понизовье, Свидно, Сутоки [13].

Формирование стока на землях сельскохозяйственного назначения рассмотрено на примере строительства молочно-товарной фермы в Минской области. Площадка исследуемого объекта расположена вблизи д. Гайна Логойского района Минской области (рисунок 3), на земельном участке ОАО «Минский тракторный завод». Земельный участок ограничен с северной стороны лесным массивом, с запада и юго-запада расположена существующая жилая застройка д. Гайна на расстоянии 320 м, севера, востока и юга участок окружают пахотные земли. Земельный участок представлен пахотными землями, расположен вблизи автомобильной дороги Р-66. Пашня занимает 89017 м², сад – 127 м², луговая растительность 1820 м², естественные пастбища – 650 м².



Рисунок 3 – Месторасположение объекта

Учитывая, что подземные воды хорошо защищены (глубокое залегание вод, суглинистые почвы), жилые зоны удалены от территории планируемого строительства (более 300 м от фермы), здания для содержания животных, выгульные площадки, отстойники-навозо-накопители планируется располагать с подветренной стороны по отношению к жилому сектору д. Гайна, особо охраняемые природные территории значительно удалены от участков планируемого строительства (порядка 20 км), размещение молочно-товарной фермы весьма благоприятное. Общий баланс территории представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Баланс территории молочно-товарной фермы

Наименование показателя	Значение показателя	
	м ²	%
Площадь территории в условных границах работ	91614,0	100
Площадь застройки	45234,0	49,37
Площадь покрытий	26583,0	29,02
Площадь озеленения	19797,0	21,61

На отведенной площадке предусматривается размещение следующих зданий и сооружений: коровники боксового содержания; здание для сухостойных голов и для нетелей; здание молодняка; крытый дезбарьер; навес для телят; площадка для погрузки навоза; доильно-молочный блок; насосная станция навозных стоков; блок вспомогательных помещений; выгульные площадки; отстойники-навозо-накопители; испарительная канава; площадка хранения сочных кормов; площадка для установки мусорных контейнеров ТБО; водонапорная башня.

Отвод дождевых вод с территории, не загрязненной навозом, предусмотрен за территорию молочно-товарной фермы и далее в проектируемую канаву-испаритель; с кровли производственных зданий со стороны территории, загрязненной навозом – условно чистых дождевых вод с последующим отведением в проектируемую испарительную канаву; отвод дождевых стоков, загрязненных навозом – с площадок для погрузки навоза и прилегающего проезда сетью самотечной навозной канализации с последующим отведением в отстойники – навозо-накопители. Дождевые стоки с кровли зданий по отстойке здания поступают самотеком в колодцы сети дождевой канализации, откуда проектируемой самотечной сетью отводятся в проектируемую канаву-испаритель.

По нашим оценкам, с учетом геологического строения земельного участка и современных условий, свойственных данной территории, а также учитывая, что 97 % отведенной территории использовалось под пашню, норма годового стока равна 3,71 дм³/с. При строительстве зданий и сооружений молочно-товарной фермы норма годового стока уменьшится. Твердые покрытия будут занимать 78,39%, а 21,61% территории отводится под озеленение. В результате среднегодовой объем поверхностного стока составит 1,32 м³/с, что на 37,1% меньше в границах проектируемого комплекса, и менее чем на 1% сократится сток в границах водосбора р. Гайна.

Сельское хозяйство оказывает также большой вклад в формирование поверхностного стока. В представленных оценках прослеживается тенденция к уменьшению среднегодового объема поверхностного стока, так как твердые покрытия (дороги, здания, площадки различного назначения, навесы для выпаса животных) являются препятствием для поверхностных вод. На основании полученных расчетных данных, можно предположить, что сокращение поверхностного стока из-за строительства и ввода в эксплуатацию предприятий сельскохозяйственного назначения произойдет на аналогичных территориях во всех областях Беларуси.

Заключение

До настоящего времени специализированная методика расчета гидрологических характеристик техногенно нарушенных территорий, позволяющая учитывать указанные факторы, не разработана. При проектировании и эксплуатации систем водообустройства техногенно нарушенных территорий в Российской Федерации расчеты гидрологических характеристик проводятся в соответствии ГОСТами, рядом руководств, пособий и указаний, выпущенных в 70–80-е годы XX в., ведомственными методиками и другими документами, не учитывающими в достаточной мере многообразия специфических особенностей, присущих техногенно нарушенным территориям.

В методике предпринята попытка на основе обобщения ранее разработанных многочисленных аналитических и эмпирических модифицированных методов расчета гидрологических характеристик естественных ландшафтов и урбанизированных территорий адаптировать их к расчетам гидрологических характеристик сложных композиций стокоформирующих комплексов, свойственных техногенно нарушенным территориям. Разработанная методика позволяет, выделив в пределах определенной водосборной площади ряд типовых стокоформирующих комплексов и рассчитав для них гидрологические характеристики, получить обобщенные гидрологические характеристики для каждого заданного расчетного створа, а соответственно, и для определенной территории с площадью в пределах выделенных границ.

Проведен сравнительный анализ формирования поверхностного стока в естественных условиях и при воздействии антропогенных факторов в границах водосбора рек Мухавец, Лесная, Гайна. При сравнении данных выявлена закономерность уменьшения стока после проведения строительных работ на участке.

Градостроительство – один из факторов воздействия на формирование стока на примере застройки одного из микрорайонов в г. Бресте. По расчетным данным, можно сделать вывод, что теоретически поверхностный сток сократится на 11,68 % при возведении на данном участке зданий и сооружений, прокладке автодорог и пешеходных дорожек.

Промышленность как фактор воздействия на формирование стока. Участок расположен в пределах водосбора р. Лесная и занимает площадь 2061,12 м². Строительство промышленных зданий и сооружений в данном случае сокращает объемы поверхностного стока на 9,87%.

Сельское хозяйство как фактор воздействия на формирование стока. Для участка площадью 91614 м² норма годового стока равна 3,71 дм³/с, после проведения строительных работ по возведению зданий по содержанию животных и складских помещений, навесов для выгула животных среднегодовой объем поверхностного стока сократится на 64,48%.

На примере застройки жилого микрорайона в г. Бресте, промышленного предприятия СП «Санта Бремор» ООО в г. Бресте, планируемой к застройке молочно-товарной фермы в Минской области, вблизи д. Гайна, прослеживается тенденция к уменьшению количества среднегодового объема поверхностного стока после ввода в эксплуатацию каждого объекта. На сегодняшний день развитие градостроительной деятельности, промышленности и сельского хозяйства неизбежно. Сокращение среднегодовой объемов поверхностного стока с дальнейшими последствиями характерно для всех областей страны.

Работа выполнена в рамках ГПНИ «Природопользование и экология» подпрограмма «Природные ресурсы и экологическая безопасность (№ гос. регистрации 20164235).

Список цитированных источников

- Hatt, B. E. The Influence of Urban Density and Drainage Infrastructure on the Concentrations and Loads of Pollutants in Small Streams / B. E. Hatt [and others] // Environmental Management. – 2004. – № 1(34).
- McGrane, S. J. Impacts of urbanisation on hydrological and water quality dynamics, and urban water management: a review // Hydrological Sciences Journal. – 2016. – № 13(61). – С. 2295–2311.
- Miller, J. D. Assessing the impact of urbanization on storm runoff in a peri-urban catchment using historical change in impervious cover // Journal of Hydrology. – 2014. – № 515. – С. 59–70.
- Mulliss, R. M. The impacts of urban discharges on the hydrology and water quality of an urban watercourse / R. M. Mulliss, D. M. Revitt, R. B. Shutes // Science of The Total Environment. – 1996. – № 189–190. – P. 385–390.
- Niemczynowicz, J. Urban hydrology and water management – present and future challenges // Urban Water. – 1999. – № 1(1). – С. 1–14.
- O'Driscoll, M. Urbanization Effects on Watershed Hydrology and In-Stream Processes in the Southern United States / M. O'Driscoll [и др.] // Water. – 2010. – № 3(2). – С. 605–648.
- Parkinson, J. Planning and design of urban drainage systems in informal settlements in developing countries / J. Parkinson, K. Tayler, O. Mark // Urban Water Journal. – 2007. – № 3(4). – С. 137–149.
- United Nations World Urbanization Prospects : the 2011 Revision // Economic & Social Affairs. – New York : United Nations, 2012. – 302 с.
- Волчек, А. А. Сток с урбанизированных территорий и его очистка / А. А. Волчек, И. В. Бульская // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2013. – № 2. – С. 88–92.
- Крашенинникова, С. В. Влияние урбанизированных территорий на формирование поверхностного стока / С. В. Крашенинникова // Известия Пензенского государственного педагогического университета. – 2008. – №10(14). – С. 119–121.
- Национальный статистический комитет Республики Беларусь // Водные ресурсы [Электронный ресурс]. – Режим доступа : URL: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/okruzhayushchaya-sreda/sovmeznaya-sistema-ekologicheskoi-informatsii2/c-vodnye-resursy/>. – Дата доступа : 14.04.2020.
- РУП «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов» // ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ВОДНЫЙ КАДАСТР. ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ, ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И КАЧЕСТВО ВОД [Электронный ресурс]. – Режим доступа : URL: <http://www.cricuwr.by/gvkinfo/>. – Дата доступа : 14.04.2020.
- Блакитная книга Беларуси : (водные объекты Беларуси) : энциклопедия / ред. Н. А. Дзісько [и інш.]. – Минск : Беларуская Энцыклапедыя імя П. Броўкі, 1994. – 415 с.
- Методика расчета гидрологических характеристик техногенно нарушенных территорий / Под ред. С. В. Соколовский. – Санкт-Петербург : ОАО «ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева», 2010. – 115 с.
- Расчетные гидрологические характеристики. Правила расчета : ТКП 45-3.04-168-2009 (02250). – Минск : РУП «Стройтехнорм», 2010. – 55 с.
- Раздел «Охрана окружающей среды» по объекту № 23.10 «Застройка Юго-Западного жилого района № 5 в г. Бресте». – Брест : Институт комплексного проектирования объектов ОАО «Брест-проект», 2018. – 37 с.

References

- Hatt, B. E. The Influence of Urban Density and Drainage Infrastructure on the Concentrations and Loads of Pollutants in Small Streams / B. E. Hatt [and others] // Environmental Management. – 2004. – № 1(34).
- McGrane, S. J. Impacts of urbanisation on hydrological and water quality dynamics, and urban water management: a review // Hydrological Sciences Journal. – 2016. – № 13(61). – С. 2295–2311.
- Miller, J. D. Assessing the impact of urbanization on storm runoff in a peri-urban catchment using historical change in impervious cover // Journal of Hydrology. – 2014. – № 515. – С. 59–70.
- Mulliss, R. M. The impacts of urban discharges on the hydrology and water quality of an urban watercourse / R. M. Mulliss, D. M. Revitt, R. B. Shutes // Science of The Total Environment. – 1996. – № 189–190. – P. 385–390.
- Niemczynowicz, J. Urban hydrology and water management – present and future challenges // Urban Water. – 1999. – № 1(1). – С. 1–14.
- O'Driscoll, M. Urbanization Effects on Watershed Hydrology and In-Stream Processes in the Southern United States / M. O'Driscoll [и др.] // Water. – 2010. – № 3(2). – С. 605–648.
- Parkinson, J. Planning and design of urban drainage systems in informal settlements in developing countries / J. Parkinson, K. Tayler, O. Mark // Urban Water Journal. – 2007. – № 3(4). – С. 137–149.
- United Nations World Urbanization Prospects : the 2011 Revision // Economic & Social Affairs. – New York : United Nations, 2012. – 302 с.
- Volchek, A. A. Stok s urbanizirovannykh territorij i ego oчитка / A. A. Volchek, I. V. Bul'skaya // Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2013. – № 2. – С. 88–92.
- Krasheninnikova, S. V. Vliyanie urbanizirovannykh territorij na formirovanie poverhnostnogo stoka / S. V. Krasheninnikova // Izvestiya Penzinskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. – 2008. – №10(14). – С. 119–121.
- Natsional'nyj statisticheskij komitet Respubliki Belarus' // Vodnye resursy [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : URL: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/okruzhayushchaya-sreda/sovmeznaya-sistema-ekologicheskoi-informatsii2/c-vodnye-resursy/>. – Data dostupa : 14.04.2020.
- РУП «Central'nyj nauchno-issledovatel'skij institut kompleksnogo ispol'zovaniya vodnykh resursov» // ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ВОДНЫЙ КАДАСТР. ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ, ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И КАЧЕСТВО ВОД [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : URL: <http://www.cricuwr.by/gvkinfo/>. – Data dostupa : 14.04.2020.
- Blakitnaya kniga Belarusi : (vodnyya ab'ekty Belarusi) : encyklopediya / red. N. A. Dzis'ko [i insh.]. – Minsk : Belaruskaya Encyklopediya imya P. Brojki, 1994. – 415 s.
- Metodika rascheta gidrologicheskikh harakteristik tekhnogenno nagruzhennykh territorij / Pod red. S. V. Sokol'skij. – Sankt-Peterburg : ОАО «VNIIG im. B. E. Vedeneeva», 2010. – 115 s.
- Raschetnye gidrologicheskie harakteristiki. Pravila rascheta : ТКП 45-3.04-168-2009 (02250). – Minsk : RUP «Strojtekhnorm», 2010. – 55 s.
- Razdel «Ohrana okruzhayushchej sredy» po ob'ektu № 23.10 «Zastrojka YUgo-Zapadnogo zhilogo rajona № 5 v g. Breste». – Brest : Institut kompleksnogo proektirovaniya ob'ektov ОАО «Brestproekt», 2018. – 37 с.

Материал поступил в редакцию 18.04.2020